

*В роботі розглядається методологія виконання параметризації типових блоків напрямного апарату багатоступеневого відцентрового насосу. Результати представлені у вигляді систем нелінійних рівнянь геометричних взаємозв'язків*

*Ключові слова: напрямний апарат, тривимірна модель, параметризація*

*В работе рассмотрена методология выполнения параметризации типовых блоков направляющего аппарата многоступенчатого центробежного насоса. Результаты представлены в виде систем нелинейных уравнений геометрических взаимосвязей*

*Ключевые слова: направляющий аппарат, трехмерная модель, параметризация*

*The method of the parameterization of the guiding device's typical blocks of a radial-flow pump is examined. The results are presented as system of nonlinear equations of the size relationships*

*Keywords: a guide vane, three-dimensional model parameterization*

# ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ БЛОЧНОЇ МОДЕЛІ НАПРЯМНОГО АПАРАТУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

**А. В. Марченко**

Кандидат технічних наук, старший викладач

Кафедра комп'ютерних наук, секція

інформаційних технологій проектування

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна,

40007

Контактний тел.: 066-104-65-49

E-mail: [nenja\\_av@opm.sumdu.edu.ua](mailto:nenja_av@opm.sumdu.edu.ua)

## 1. Актуальність дослідження

Сучасний етап розвитку наукової складової машинобудівної галузі вітчизняного виробництва можна охарактеризувати стрімким зростанням частки використання ІТ-технологій. Активне впровадження ІТ-технологій відбувається на всіх етапах проектування та виготовлення продукту машинобудівної галузі: від етапу пошуку конструкторських рішень до етапу реалізації проекту. Використання новітніх розробок прикладної програмної інженерії дозволяє значно підвищити конкурентну спроможність виробників, зокрема, насосного обладнання.

Дана робота присвячена дослідженню напрямного апарату (робочого органу, що відповідає за якісні показники робочого процесу) багатоступеневого відцентрового насосу в аспекті блочно-модульного принципу конструювання. Насосне обладнання використовується майже в усіх галузях народного господарства, споживання та комунального хазяйства країн. Саме тому завжди актуальним залишається питання модернізації технології розроблення та виготовлення робочих органів гідравлічних та пневматичних машин та агрегатів.

## 2. Мета та предмет дослідження

Метою дослідження є розроблення методики автоматизованого комп'ютерного геометричного моделювання напрямних апаратів (НА) багатоступеневих відцентрових насосів (ВЦН) на основі параметризованої моделі.

Предметом дослідження є тривимірна геометрична модель НА.

## 3. Методи дослідження

Дослідження тривимірної моделі НА ведеться в аспекті блочно-модульного принципу проектування (БМП), для якого характерне виділення частин (блоків) загальної моделі і подальше формування моделей різних конструкцій комбінуванням блоків. Основні положення застосування методу БМП при дослідженні робочих органів гідромашин, зокрема НА, розглянуті в роботі [1].

Результати системного аналізу конструкції НА із дотриманням основних принципів структурно-параметризованого геометричного моделювання наведені у роботі [2].

Аргументувати декомпозицію складного механізму на складові меншого порядку дозволяє використання системного аналізу. Під системним аналізом слід розуміти сукупність прийомів і методів для вивчення складних об'єктів, що містить у собі вирішення декількох задач. А саме: структуризацію об'єкту та формування математичної моделі (параметризація та встановлення взаємозв'язків між структурними одиницями).

Були виділені наступні етапи проведення параметризації предмету дослідження, спираючись на роботи [3, 4]. Першим етапом необхідно виділити базові контури, що створюють грані (ескізи на площині) в межах блоку, що параметризується. Другим етапом виділяються фіксовані точки, положення яких визначається розрахунком за загальноприйнятими методиками в галузі гідромашинобудування і визначається параметрами роботи насосу.

Третім етапом встановлюються геометричні взаємозв'язки між точками ескізу, накладаються умови паралельності, ортогональності, тощо.

Четвертим етапом записуються рівняння відрізків, які формують контури ескізу. Формується система рівнянь. Перевіряється відповідність кількості невідомих (невідомими виступають координати вузлових точок ескізу у тривимірній системі координат) кількості рівнянь. За необхідністю накладаються додаткові умови.

Останнім етапом розв'язується система рівнянь для невідомих.

Адекватність розробленої математичної моделі перевіряється шляхом реалізації автоматизованої побудови тривимірної моделі обраного блоку.

Використання вказаних методів разом із дотриманням загальноновизнаних рекомендацій та закономірностей в галузі гідромашинобудування дозволяє у кінцевому результаті отримати адекватні наукові та практичні результати.

#### 4. Результати дослідження

Системний аналіз НА різних конструктивних виконань, проведений в рамках аналізу окремих блоків як самостійних структурних складових і паралельно – виявлення ролі кожної з них у функціонуванні системи вцілому, дозволив виділити такі блоки, що є спільними і відмінними або відсутніми (блоки, що об'єднані пунктирним контуром) для різних конструкцій апаратів (рис. 1): спіральний блок, блок дифузору, блок перевідних каналів, блок зворотних каналів, блок підвідних каналів. Сам НА як структурна одиниця входить до складу системи вищого порядку – проміжного насосного ступеня – разом із робочим колесом, відвідним та підвідним пристроями.

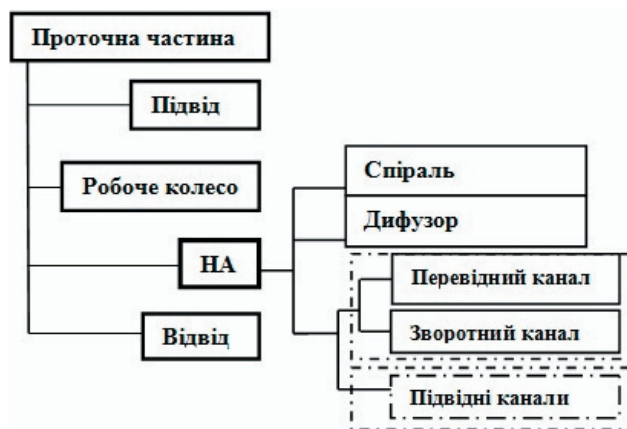


Рис. 1. Блок-схема до системного аналізу напрямних апаратів

Виконана параметризація дозволила сформувати систему рівнянь залежностей всіх геометричних розмірів кожного блоку НА, що можуть змінюватись залежно від робочих параметрів насоса в межах заданих приєднувальних та габаритних розмірів. Проілюструємо методологію проведення параметризації моделі НА на прикладі дослідження спірального блоку. Аргументувати такий вибір можна важливістю вхідної ділянки НА, яка виконує функцію рівномірного відведення рідини з робочого колеса та часткового перетворення кінетичної енергії в потенціальну.

Ескіз до параметризованої моделі спірального блоку наведений на рис. 2. На рисунку зображений профіль спіральної ділянки, сталий по всій ширині спіралі НА. Обхід по контуру обраний проти годинникової стрілки.

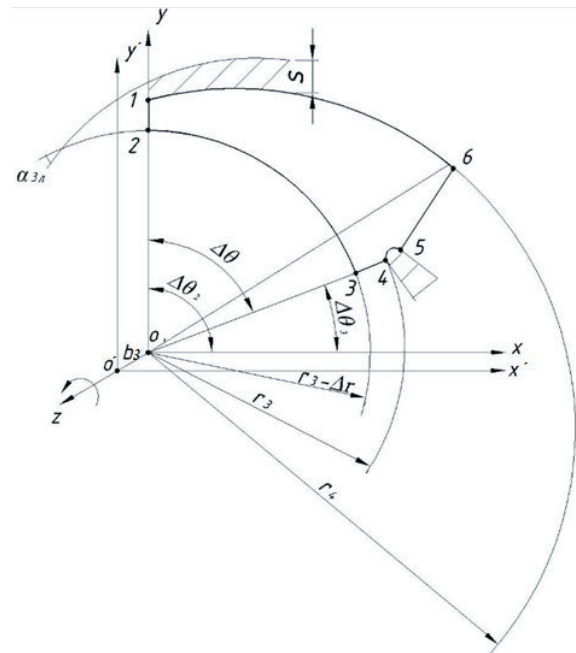


Рис. 2. Ескіз до параметризації спірального блоку НА

Були введені такі позначення величин. Уздовж OZ ширина стала і дорівнює величині  $b_3$  – ширина входу до НА – розрахункова величина. Виділяємо фіксовані точки 1 і 2, інші точки можуть змінювати положення при перерахунку геометрії НА на інші робочі параметри.

Кути  $\Delta\theta_2$ ,  $\Delta\theta_3$  визначають відповідно положення точок 2 та 3 у кутовому напрямку відносно вісі координат OX,  $\Delta\theta$  – відносну кутову відстань між точками 2 та 3.

Значення величин  $r_3$ ,  $r_4$  (положення точок 2,3 та 1,4 відповідно) дорівнює розрахунковим значенням радіусу входу (точка 4) та виходу (точка 6) зі спіральної частини НА. Для збереження відповідності позначення габаритних розмірів спірального блоку розрахунковим методикам обрані наведені позначення величин, що не співпадають з нумерацією точок контуру. Відстань  $\Delta r = 1$  мм є необхідною для забезпечення можливості розбиття адекватної сітки при розрахунковому дослідженні НА в гідродинаміці.

Кут  $\alpha_{3l}$  дорівнює розрахунковому куту встановлення лопаті НА. Ширина  $s$  лопаті також є розрахунковою величиною. Дані розміри зазначені на ескізі для пояснення визначення координат точки 5.

Оскільки ескіз профілю спіральної ділянки належить площині YOZ, прирівнюємо координати  $z_i$  точок 1, 2, ..., 6 до нуля. Координати  $x'_i$  та  $y'_i$  точок площини  $Y'O'X'$ , відповідних до точок 1, 2, ..., 6 площини YOZ, дорівнюють тим же координатам, що і в площині YOX, координати  $z'_i = b_3$ .

З умови вертикальності:

$$x_1 - x_2 = 0; \quad y_1 - y_2 = \Delta r = 1 \text{ мм}; \quad z_1 - z_2 = 0.$$

Координати точки 2, як частини дуги [2;3]:

$$\begin{cases} x_2 = (r_3 - \Delta r) \cdot \cos(\theta_2) \\ y_2 = (r_3 - \Delta r) \cdot \sin(\theta_2) \\ z_2 = 0 \\ \theta_2 = \frac{\pi}{2} \end{cases}.$$

Координати для точки 3:

$$\begin{cases} x_3 = (r_3 - \Delta r) \cdot \cos(\theta_3) \\ y_3 = (r_3 - \Delta r) \cdot \sin(\theta_3) \\ z_3 = 0 \\ \gamma = \theta_2 - \Delta\theta \\ \theta_2 = \frac{\pi}{2} \end{cases}.$$

Відрізок [3; 4] дорівнює відріzkу [1; 2].

$$(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2, \\ z_4 = z_3 = 0.$$

Крива 1-6 - спіралевидна крива в площині YOХ (рис. 3а). Рівняння кривої у відповідності до методики проектування каналів НА має вид:

$$r_i - r_3 = \frac{(r_4 - r_3) \cdot z_{HA} \cdot \theta_i}{360^\circ},$$

$$\text{де } r_4 = r_3 \cdot e^{(m \cdot A_{cm}) / (z_{HA} \cdot b_3)},$$

$$\begin{cases} x_6 = r_4 \cdot \sin(\theta_6) \\ y_6 = r_4 \cdot \cos(\theta_6) \\ z_6 = 0 \end{cases}.$$

Відрізок [6; 5] є ортогональним до лопаті НА і дорівнює розрахунковій величині  $h_4$ :

$$\begin{cases} (x_6 - x_5)^2 + (y_6 - y_5)^2 = h_4^2 \\ h_4 = (r_4 - r_3) \cdot \cos \alpha_{3,1} \\ z_6 = z_5 = 0 \end{cases}.$$

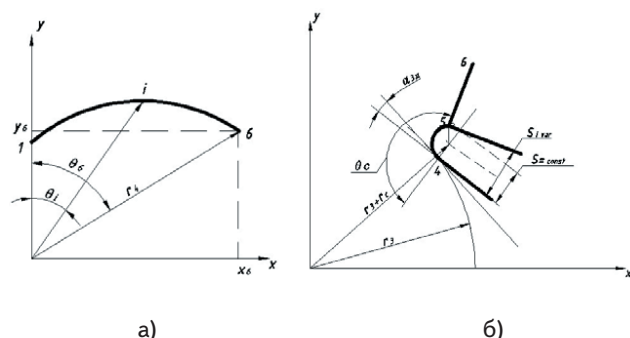


Рис. 3. Ілюстрація до визначення координат точок 4, 5 та 6: а) координат точки 6 та форми кривої [1; 6]; б) координат точок 4 та 5, приналежних до дуги [4; 5]

Послідовність визначення координат точки 5 не приводиться через значний обсяг. Обмежимося наведенням ілюстрації до розрахунку (рис. 3б). На рисунку введені такі позначення  $r_c$  та  $\theta_c$  – радіус та кут скруглення лопаті НА відповідно,  $S_{i \text{ var}}$  та  $S_{\text{const}}$  – змінна та стала товщини лопаті НА відповідно. Координати точки 5 дорівнюють

$$x_5 = (r_c \sin \Delta\theta_c - (r_3 + r_c) \sin \Delta\theta) \cos(\pi - \Delta\theta) + (r_c \cos(\pi - \Delta\theta_c) - (r_3 + r_c) \cos \Delta\theta) \sin(\pi - \Delta\theta);$$

$$y_5 = (r_c \sin \Delta\theta_c - (r_3 + r_c) \sin \Delta\theta) \sin(\pi - \Delta\theta) + (r_c \cos(\pi - \Delta\theta_c) - (r_3 + r_c) \cos \Delta\theta) \cos(\pi - \Delta\theta),$$

де  $\Delta\theta_c$  – кут розширення лопаті по довжині  $\Delta l$ :

$$\Delta\theta_c = \frac{S_{\text{const}} - S_{\text{var}}}{\Delta l}.$$

Координати точки 4, як частини дуги скруглення лопаті [4; 5]:

$$\begin{cases} x_4 = r_3 \cos(\frac{\pi}{2} - \Delta\theta) \\ y_4 = r_3 \sin(\Delta\theta_c) \\ z_4 = 0 \end{cases}.$$

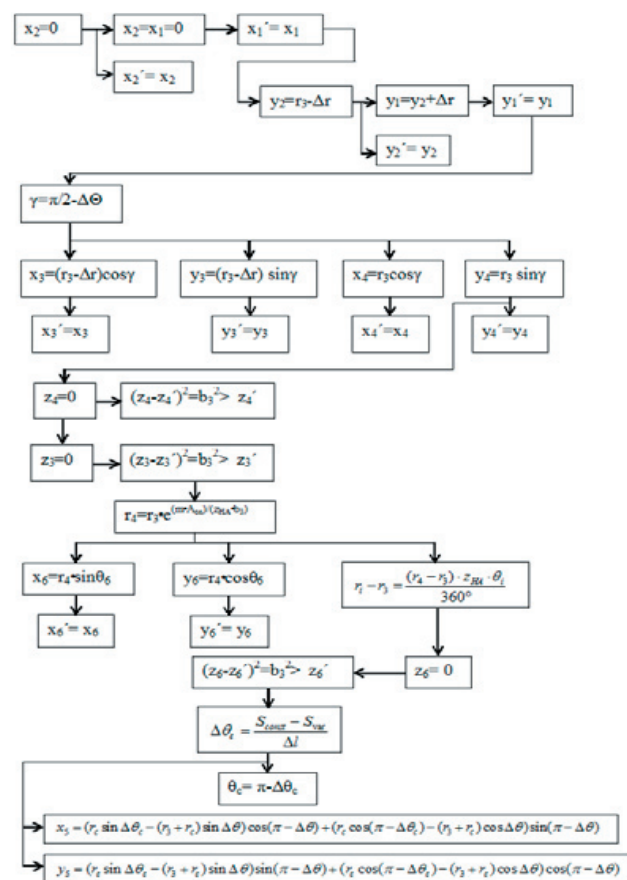


Рис. 4. Схема розв'язання системи рівнянь для спірального блоку

Схема, наведена на рис. 4, дозволяє наочно представити залежності між параметрами і відображає послідовність дій, слідуючи за якими можна визначити всі координати спірального блоку. Система рівнянь розв'язувалась методом послідовного виключення. Послідовність розрахунку вважається правильною, якщо на кожному кроці в розв'язуванні системи число невідомих параметрів дорівнює числу рівнянь. Розрахунок починається з тих систем, для яких на схемі перерахунку немає ні одного вхідного ребра, і закінчується після розв'язання всіх систем рівнянь.

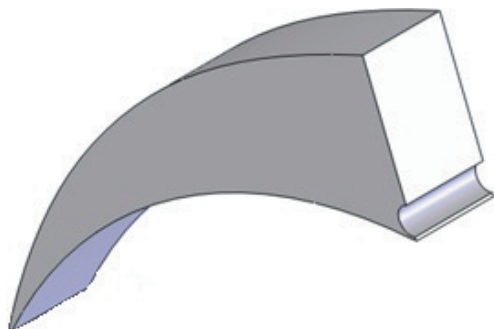


Рис. 5. Тривимірна параметризована модель спірального блоку НА

Реалізація (тестування) проекту була виконана засобами програмування Delphi у САПР Solidworks.

Модель спірального блоку НА швидкохідного ВЦН, побудована на базі розробленої математичної моделі, наведена на рис. 5.

Аналіз геометричних розмірів та форм показав адекватність розробленої моделі. Аналогічним чином була виконана параметризація таких блоків НА проміжного ступеня: дифузійний блок, блок зворотних та перевідних каналів.

## 5. Висновки

Виконана параметризація НА проміжного ступеня ВЦН дозволяє:

- модифікувати тривимірні моделі апаратів на різні робочі параметри із дотриманням приєднальних розмірів;
- розв'язати геометрично недовизначені завдання шляхом надання розробнику можливості виявлення невідомих факторів у вигляді зв'язків і знаходження потрібного рішення;
- створює базові засади для формування автоматизованого тривимірного моделювання напрямних апаратів визначеного конструктивного виконання.

Запропоновану методику параметризації блоків робочих органів гідравлічних машин можна рекомендувати для використання під час аналогічних досліджень підвідних та відвідних пристроїв гідромашин.

## Література

1. Неня, А.В. Особливості побудови тривимірних геометричних моделей напрямних апаратів багатоступеневих відцентрових насосів [Текст]/ А.В. Неня, С.О. Лугова// Всеукраїнський науко- технічний журнал «Промышленная гидравлика и пневматика». – 2010. – №2 (28). – С. 45–52.
2. Марченко, А.В. Аспекти комп'ютерного геометричного моделювання напрямних апаратів багатоступеневих відцентрових насосів [Текст]/ А.В. Марченко// Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ. – 2010. – Вип.27. – С. 99 – 103.
3. Копорушкин, П.А., Партин А.С. Алгоритм расчета параметризованных геометрических расчетов [Электронный ресурс]/ Электронный журнал «Исследовано в России». – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/018.pdf>. – Заглав. с экрана.
4. Ковальов, С.М. Обчислювальна геометрія [Текст]: навчальний посібник/ С.М. Ковальов, А.В. Золотова. – К.: КНУБА, 2008. – 124 с.